

基于 CWT-HHT 结合的永磁同步电机失磁故障 诊断方法及其可行性分析*

魏海增¹, 马宏忠¹, 陈 诚², 刘勇业¹

(1. 河海大学 能源与电气学院, 江苏 南京 211100;

2. 上海汽车集团有限公司 新能源汽车事业部, 上海 201804)

摘 要: 永磁同步电机失磁故障是驱动电机故障中最为严重的故障之一。失磁故障意味着永磁同步电机的优势显著降低。提出了基于 CWT-HHT 结合的永磁同步电机失磁故障诊断方法并对其可行性进行了分析。首先简要分析了永磁同步电机稳态运行特性、搭建电机故障试验平台, 实时采集电机正常及失磁时的定子电流信号; 然后通过信号分析得出: 失磁故障下电流信号的 EMD 分解分量 imf4 的周期性较正常情况时变差, 而且分量 imf3 所占比例较正常情况时变大; 失磁故障下电流信号的 HHT 图中基波频带较正常情况能量分散了。因此, 基于 CWT-HHT 结合的故障诊断方法是可行的。

关键词: 永磁同步电机; 经验模态分解; 希尔伯特-黄变换; 失磁; 故障

中图分类号: TM 351 **文献标志码:** A **文章编号:** 1673-6540(2017)08-0081-07

Diagnosis Method Based on CWT-HHT of Demagnetization Fault for Permanent Magnet Synchronous Motor and Analyzing Its Feasibility*

WEI Haizeng¹, MA Hongzhong¹, CHEN Cheng², LIU Yongye¹

(1. College of Energy and Electrical Engineering, HoHai University, Nanjing 211100, China;

2. New Energy Automotive Business Department, SAIC Motor, Shanghai 201804, China)

Abstract: Demagnetization fault of permanent magnet synchronous motor was one of the most serious fault in motor fault. Demagnetization fault meant that the advantages of permanent magnet synchronous motor was significantly decreased. Put forward a diagnosis method based on CWT-HHT of demagnetization fault for permanent magnet synchronous motor and analyzing its feasibility. Firstly, the steady state operation characteristics of permanent magnet synchronous motor were briefly analyzed, experimental platform of motor fault set up, stator current signal of normal and demagnetization of motor collected in real time; Then, the comparison and the analysis showed that the periodicity of component imf4 of current signal EMD decomposition under the demagnetization fault was worse and component imf3 accounted for a large proportion compared with the normal condition. The energy of the fundamental frequency band of current signal of the demagnetization fault was scattered. Therefore, the fault diagnosis method based on CWT-HHT was feasible.

Key words: permanent magnet synchronous motor (PMSM); empirical mode decomposition (EMD); hilbert-huang transform (HHT); demagnetization; fault

* 基金项目: 上海汽车工业科技发展基金会基金项目(1106)

作者简介: 魏海增(1991—), 男, 硕士研究生, 研究方向为永磁同步电机状态监测与故障诊断;

马宏忠(1962—), 男, 博士, 教授, 研究方向为电力设备状态监测及故障诊断。

0 引言

永磁同步电机 (Permanent Magnet Synchronous Motor, PMSM) 失磁故障是驱动电机故障中最为严重的故障之一^[1], 也是 PMSM 特有的故障。PMSM 从组装完成就面临失磁的风险, 在运输、安装和运行过程中失磁往往不可避免, 所以失磁问题一直是限制其生产和广泛应用很重要的因素。一旦永磁电机发生失磁故障, 会导致永磁电机力能指标下降、温度升高、振动加剧、噪声变高、动态性能变差^[2-3], 进而加剧故障的严重程度, 如此不断恶劣循环, 如若不能及时发现并排除故障, 最后会导致电机的损坏和报废^[4-6]。

常规电机故障诊断有比较成熟的理论, 而永磁电机使用过程中永磁体的失磁研究国内外还没有成熟的方法进行准确的监测, 很难及时掌握电机磁损和失磁故障情况。目前对电机运行时永磁体状况动态检测的研究尚处于起步阶段, 主要的研究也是在国外。文献[4-5, 7-8]建立了电机的失磁模型, 分析了失磁的风险及其产生的影响, 但不适用于在线监测, 具有一定的局限性。文献[9]分析不同频率的谐波力引起的噪声功率的变化作为诊断失磁故障的依据, 该方法可用于在线实时监测。文献[10]提出了定子电流的 Hilbert-Huang 变换方法诊断永磁体失磁故障, 但会受到其他噪声的影响, 可靠性不高。

考虑到以上诊断及监测方法, 其简易性、精确性、可靠性仍有待进一步提高, 提出一种基于 CWT-HHT 结合的 PMSM 失磁故障诊断方法, 并对其可行性进行分析。针对永磁电机的失磁故障, 搭建电机失磁故障试验平台, 测取电机正常及失磁故障时的定子电流信号, 并对其进行小波的分解与重构, 然后将重构的定子电流信号通过经验模态分解 (Empirical Mode Decomposition, EMD) 和 Hilbert 变换, 对处理后的正常及失磁故障信号进行分析找出故障判据, 并以此作为永磁电机故障诊断的依据。

1 PMSM 稳态运行特性分析

如果电机的定子三相对称绕组通入三相对称电流后, 电机内部必然会产生圆形旋转磁场; 当电机运转时, 转子产生的磁场会受到该旋转磁场的

反向作用, 而永磁电机转子永磁体在这种反复变化的强外施退磁磁场作用时, 也会导致转子磁性性能下降, 即退磁的现象。当给已充磁的永磁体施加一定强度的退磁磁场时, 其磁通密度将会顺着一定温度下的退磁曲线下降, 如图 1 所示。

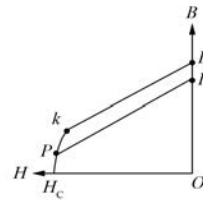


图 1 永磁材料的回复曲线

对于 PMSM 稳态运行特性, 可从其基本电磁关系或者相量图推导出, 一般关注其电枢电流、输入功率、输出功率、效率及功率因数等与其之间的关系^[11]。

电磁转矩和功角关系可以从图 1 推导如下:

$$\psi = \arctan \frac{I_d}{I_q} \quad (1)$$

$$\varphi = \theta - \psi \quad (2)$$

$$U \sin \theta = I_q X_q + I_d R_1 \quad (3)$$

$$U \cos \theta = E_0 - I_d X_d + I_q R_1 \quad (4)$$

根据式(3)和式(4), 可得到定子电流直轴分量及交轴分量:

$$I_d = \frac{R_1 U \sin \theta + X_q (E_0 - U \cos \theta)}{R_1^2 + X_d X_q} \quad (5)$$

$$I_q = \frac{X_d U \sin \theta - R_1 (E_0 - U \cos \theta)}{R_1^2 + X_d X_q} \quad (6)$$

$$I_1 = \sqrt{I_d^2 + I_q^2} \quad (7)$$

而电动机的输入功率为

$$\begin{aligned} P_1 &= m U I_1 \cos \varphi = m U I_1 \cos (\theta - \psi) = \\ &= m U (I_d \sin \theta + I_q \cos \theta) = \\ &= \frac{m U \left[E_0 (X_q \sin \theta - R_1 \cos \theta) + R_1 U + \frac{1}{2} U (X_d - X_q) \sin 2\theta \right]}{R_1^2 + X_d X_q} \end{aligned} \quad (8)$$

考虑 $R_1 = 0$, 电机的电磁功率可由式(8)得到:

$$P_{em} \approx P_1 \approx \frac{m E_0 U}{X_d} \sin \theta + \frac{m U^2}{2} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \quad (9)$$

电机的电磁转矩为

$$T_{em} = \frac{P_{em}}{\Omega} = \frac{mpE_0U}{\omega X_d} \sin \theta + \frac{mpU^2}{2\omega} \left(\frac{1}{X_q} - \frac{1}{X_d} \right) \sin 2\theta \quad (10)$$

式中： ω ——电机的电角速度；
 p ——电机的极对数。

2 试验平台的搭建

本试验平台是在学校常规实验室搭建的,由 6 kW 的开关直流电源、控制器、42 kW 的 PMSM、负载及数据采集仪等组成。试验平台如图 2 所示。

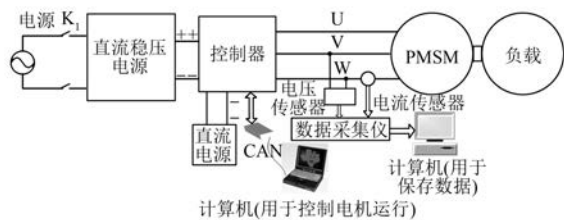


图 2 PMSM 失磁故障试验平台框图

试验电机为上海汽车股份有限公司提供的纯电动汽车用 PMSM,主要性能参数如下:PMSM 型号为 270ZWS002,磁极个数为 8 极,磁体呈内置 V 型分布、额定功率为 42 kW。PMSM 结构如图 3 所示。

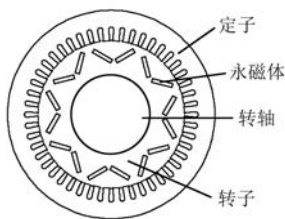


图 3 PMSM 结构

该试验电机采用直接转矩控制方式驱动,即给电机控制器一定扭矩的指令,该指令经直接转矩控制策略的运算控制电机输出要求的扭矩。本试验所述开关直流稳压电源的输出电压设定为 320 V,负载系统为直流发电机与电炉,分别给定电机扭矩值为 2、4、6、8、10、12 N·m 的指令,电机最终在对应扭矩指令下的 5 种不同转速下稳定运行。

三相电源线上均加装了霍尔电流传感器 CSOSOEK1,数据采集仪输出信号为电压信号,采

样频率 10 kHz 可以满足分析故障频率和精确度的要求。

由于常规实验室电源容量的限制,故负载试验解决的办法是配置轻负载,直流稳压电源的功率要求也不高,则可配置单相的直流稳压电源,则使得常规实验室的电源满足要求。轻载试验平台如图 4 所示。

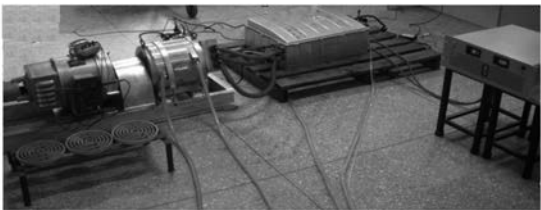


图 4 轻载试验平台图

3 失磁故障的影响分析

在上述试验平台上,按照所述的试验方案完成电动汽车 PMSM 正常与失磁故障的负载试验。为分析失磁故障对电机性能的影响,将正常情况与失磁故障下电机稳态运行时一些电气量进行对比,如表 1 所示。

表 1 正常情况与失磁故障下电机稳态运行时电气量对比

给定电机 控制器扭矩 值/ (N·m)	转速/ (r·min ⁻¹)		大功率直流 开关电源 输出电流/A		直流发电 机输出 电压/V		直流发电 机输出 电流/A	
	正常	失磁 故障	正常	失磁 故障	正常	失磁 故障	正常	失磁 故障
2	785	765	1.2	1.1	78	72.8	1.51	1.42
4	1 005	965	2.2	2.0	123	116	2.4	2.22
6	1 225	1 145	3.3	3.1	166	155	3.22	2.98
8	1 385	1 335	4.8	4.3	206	196.7	4.0	3.76
10	1 625	1 545	6.7	6.2	259	243	4.83	4.59
12	1 825	1 745	8.7	8.0	301	286	5.55	5.3

从表 1 可看出,在给定相同的扭矩指令后,电机发生失磁故障后其转速相比正常情况有所下降,输出功率也有所下降,说明电机发生失磁故障后其带载能力下降。另外,电机发生失磁故障后,电机起动较正常情况困难(体现在起动时间变长),电机转速波动也较正常情况明显,振动较正常情况剧烈,噪声较正常情况大。

4 诊断方法理论基础

4.1 方法的提出

由于现场采集的电压电流信号不可避免地含有噪声等干扰信号,会干扰故障特征的提取,影响故障诊断的准确性,故在诊断之前首先采取适当的降噪技术对待分析数据进行处理。传统的傅里叶变换只能将时域信号转化为频域信号,而对于信号的时频局部性能无法进行表达,无法观察信号的能量随时间和频率的分布情况^[12]。希尔伯特黄变换由 EMD 和 Hilbert 变换两部分组成。EMD 用来提取信号的经验模态函数(IMF),然后对各模态函数进行 Hilbert 变换,使得各阶模态函数具有实际的物理意义。它们都是频率和幅值的时间函数,分解效率精度高,而且时域局部性也好;另外,这种方法的自适应性,使得 Hilbert 谱能表现出信号的能量随时间和频率的分布情况^[13]。含噪信号经过小波降噪,使得 EMD 的精度在很大程度上得到了提高。因此,小波方法与 EMD 结合能充分地发挥 EMD 自适应分解的能力,进而得到更为准确的模态分量,故在此基础上得到的希尔伯特谱更加准确。

4.2 小波的分解与重构

设函数 $\phi(t) \in L^2(R)$, 并且满足 $\int_R \phi(t) dt = 0$, 称 $\phi(t)$ 为母小波函数。对母小波 $\phi(t)$ 进行平移和伸缩变换,记 a 为伸缩因子, b 为平移因子, $a, b \in R$, 并且 $a \neq 0$, 得到分析小波如下:

$$\phi_{a,b}(t) = |a|^{-1/2} \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (11)$$

函数 $f(t) \in L^2(R)$ 的连续小波变换定义为 CWT, 公式如下:

$$W_{a,b} \stackrel{\text{def}}{=} \int_R f(t) \phi_{a,b}^*(t) dt \quad (12)$$

式中: $\phi_{a,b}^*(t)$ —— $\phi_{a,b}(t)$ 的共轭函数。

若母小波函数为实函数, $\phi_{a,b}^*(t) = \phi_{a,b}(t)$, 则 $f(t)$ 的连续小波变换为

$$W_{a,b} \stackrel{\text{def}}{=} \int_R f(t) \phi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (13)$$

综上分析可知,可由原信号变换为 $W_{a,b}$ 。如加入下述约束条件,可存在逆变换,由 $W_{a,b}$ 恢复出

原信号 $f(t)$, 约束条件为

$$\int_R \frac{|\hat{\phi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (14)$$

式中: $|\hat{\phi}(\omega)|$ —— $\phi(t)$ 的傅氏变换。

则逆变换为

$$f(t) = C_\phi^{-1} \int_R \frac{da}{a^2} \int_R W_{a,b} \phi_{a,b}(t) db \quad (15)$$

其中:

$$C_\phi = \int_R \frac{|\hat{\phi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega \quad (16)$$

事实上,如果母小波 $\phi(t)$ 满足这个条件,即在无穷远处的衰减条件,用公式表述为

$$|\phi(t)| \leq c(1+|t|)^{-(1+a)} \quad (17)$$

当 $|t|$ 充分大,且 $\varepsilon > 0$ 时,容许条件: $\int_R \frac{|\hat{\phi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty$ 等价于 $\int_R \phi(t) dt = 0$, 此时逆变换存在。

采用小波变换技术能够通过依据不同信号的特点,将信号分解至不同频段下,对小波系数阈值处理后再重构,最终实现对原始信号的降噪处理。本文采用小波阈值降噪进行降噪处理,其主要步骤如下:

(1) 小波分解。选择一个合适的小波基函数及分解层次,然后对信号进行小波分解。

(2) 阈值量化。确定小波分解较高频率系数的阈值,并对各个高频系数作软阈值处理。

(3) 小波重构。将处理后的小波系数进行重构。

值得注意的是,在基于小波技术降噪过程中,需要考虑分析的对象对小波基函数和阈值进行选取,确保降噪后仍保留有效信息,否则将失去降噪效果^[14-15]。

4.3 希尔伯特黄变换的基本步骤

HHT 方法有两个步骤。

第一步是经验模态分解:

(1) 确定原始信号 $x(t)$ 的所有极大值点,用三次样条插值函数拟合形成原数据的上包络线;确定所有的极小值点,用同样的方法拟合出原数据的下包络线。

(2) 假设 m_1 是(1)中所求上下包络的平均值,令 $h_1 = x(t) - m_1$ 。如果 h_1 是一个固有模态函数,则 h_1 是 $x(t)$ 的第一个分量。

(3) 如果 h_1 不是一个 IMF, 则以 h_1 为原始信号, 重复(1)、(2)两个步骤。即, 假设 m_{11} 是 h_1 的上下包络均值, 令 $h_{11} = h_1 - m_{11}$ 。判断 h_{11} 是否为 IMF。如不满足, 再次以 h_{11} 为原信号。如此循环 n 次, 直到 $h_{1n} = h_{1(n-1)} - m_{1n}$, 满足 IMF 的条件。

(4) 记 $c_1 = h_{1n}$, c_1 就是 $x(t)$ 的第一个 IMF 分量。

(5) 记 $r_1 = x(t) - c_1$, 将 r_1 作为原始信号, 再次重复上述步骤, 每一步都提取出一个 IMF, 得

$$\begin{cases} r_2 = r_1 - c_2 \\ r_3 = r_2 - c_3 \\ \dots \\ r_n = r_{n-1} - c_n \end{cases} \quad (18)$$

(6) 当进行到 r_n 不能再提取出 IMF 时, 将此时的 r_n 单独作为一个分量, 成为剩余分量。这样, 原信号可以表示为

$$x(t) = \sum_{j=1}^n c_j + r_n \quad (19)$$

式中: $c_1, c_2, \dots$ ——原信号的 IMF 分量, 各自包含不同的频率分量。

第二步是 Hilbert 变换:

(1) 对原信号的各个 IMF 分量进行 Hilbert 变换, 其过程可以写成:

$$H[c_i(t)] = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{c_i(t)}{t - \tau} d\tau \quad (20)$$

(2) 构造一个复函数:

$$z_i(t) = c_i(t) + jH[c_i(t)] = a_i(t)e^{j\varphi_i(t)} \quad (21)$$

求得其幅值 $a_i(t)$ 与相位 $\varphi_i(t)$, 根据相位又能求出瞬时频率 $\omega_i(t)$ 。

(3) 计算每一个 IMF 分量的希尔伯特谱:

$$H(\omega, t) = \text{Re} \sum_{i=1}^n a_i(t) e^{j\int \omega_i(t) dt} \quad (22)$$

从分解的步骤可以看出, EMD 方法具有自适应性, 不同于傅里叶变换和小波变换。分解后得到的每个 IMF 分量都包含自己的物理信息。在得到信号的 IMF 分量后, 对其进行希尔伯特变换, 通过构造解析复函数求得各个 IMF 分量的瞬时频率和幅值。HHT 方法可以同时分析信号在时域、频域、能量三维的分布情况, 可以更加有效准确地诊断电气设备故障。

5 诊断方法的可行性分析

本诊断方法先采用 db4 小波分别对现场采集的电机正常运行情况下和故障情况下的电流信号(原始信号)进行 6 层分解并提取系数, 经过小波阈值去噪处理, 得到正常情况下电机定子电流信号如图 5(a)所示, 消噪后信号如图 5(b)所示; 失磁故障下电机定子电流信号如图 6(a)所示, 消噪后信号如图 6(b)所示。限于文章的篇幅, 仅以扭矩值为 $8 \text{ N} \cdot \text{m}$ 时电机电流信号为例。

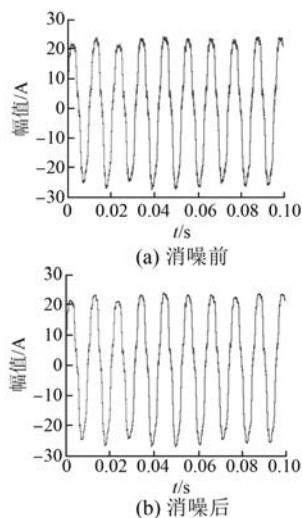


图5 正常情况下时域电流信号及其消噪信号

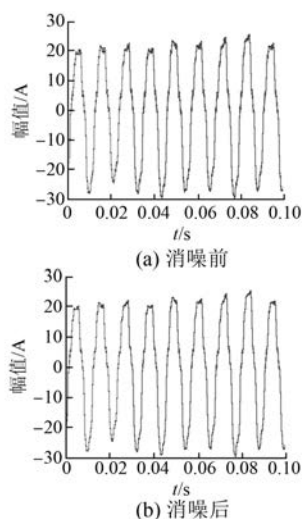


图6 失磁故障下时域电流信号及其消噪信号

从图 5、图 6 可以看出, 原始电流信号(正常与失磁故障下)经过小波阈值消噪处理后, 电流

时域信号的波形得到了很大的改善,噪声信号得到了较好的抑制。在此基础上,对消噪后的电流信号进行 HHT 变换,得到希尔伯特谱图,这里以对图 5、图 6 中消噪后的电流信号进行 HHT 分析,分别得到相对应的 EMD 分解图及 HHT 图,如图 7、图 8 所示。

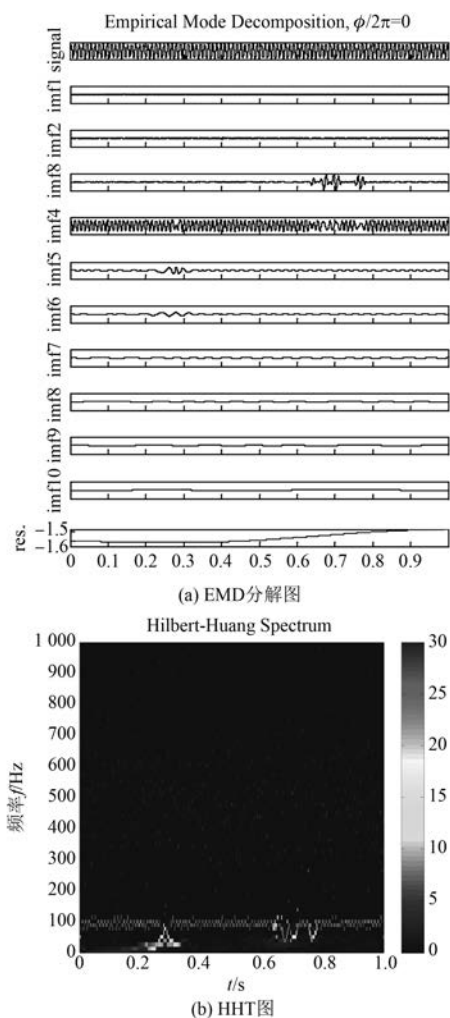


图 7 正常情况下电流信号 EMD 分解图及其 HHT 图

比较图 7 与图 8 可知:失磁故障下电流信号的 EMD 分解的分量 imf4 的周期性较正常情况时变差,而且分量 imf3 所占比例较正常情况时变大;失磁故障下电流信号的 HHT 图中基波频带较正常情况变宽即能量分散了,而且图中其他被亮点占据位置较正常情况变大且更亮。这表明:电机发生失磁故障后,转速波动变大,平稳性变差;电流中的奇次谐波分量增大,这与 FFT 分析的结果相一致。因此,对电流信号进行 EMD 分解,将

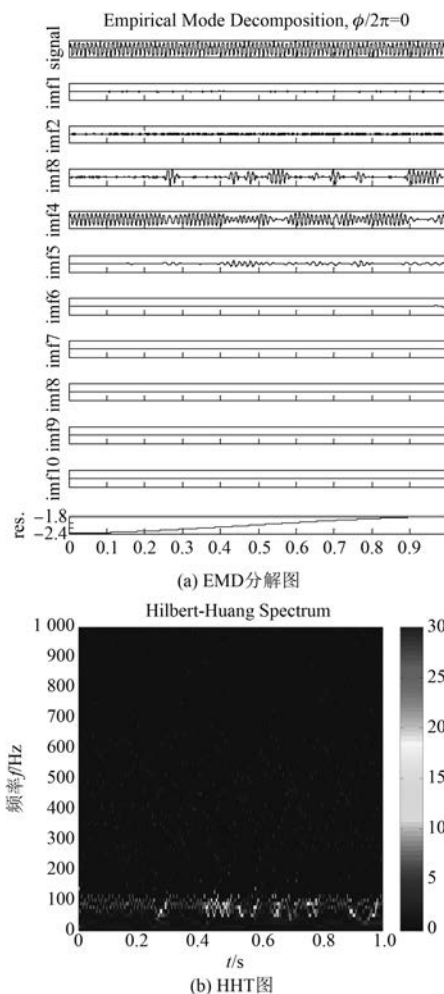


图 8 失磁故障下电流信号 EMD 分解图及其 HHT 图

与原始信号相近的 imf 分量以及变化较大的 imf 分量作为故障特征,例如图 8 中的 imf3、imf4 分量,再结合希尔伯特谱图中频率-能量的分布变化对故障进行诊断。因此,基于小波结合希尔伯特黄变换诊断失磁故障的方法是可行的。

6 结 语

本文首先简要分析了 PMSM 稳态运行特性,搭建电机故障试验平台,实时采集电机正常及失磁时的定子电流信号;然后将 CWT-HHT 结合的方法应用到电机失磁故障的诊断中,并对其可行性进行了分析。通过定子电流信号对比分析可知:失磁故障下电流信号的 EMD 分解的分量 imf4 的周期性较正常情况时变差,而且分量 imf3 所占比例较正常情况时变大;失磁故障下电流信号的 HHT 图中基波频带较正常情况能量分散。因此,

在对电流信号进行 EMD 分解之后,可以将与原始信号相近的 imf 分量以及变化较大的 imf 分量作为故障特征。

【参考文献】

- [1] 张志艳,马宏忠,赵剑锴,等.基于负序分量和模糊逻辑相融合的永磁同步电机定子不对称故障诊断[J].电机与控制应用,2014,41(6): 64-68.
- [2] 徐静,段芳,江天炎.模糊 MRAS 方法在永磁同步电机无速度传感器控制系统中的应用[J].电机与控制应用,2015,42(12): 55-58+63.
- [3] 黄智宇,鲜知良,李景俊,等.基于模型开发方法的电动汽车永磁同步电机矢量控制算法研究与应用[J].电机与控制应用,2014,41(6): 45-50.
- [4] RUOHO S, KOLEHMAINEN J, IKÄHEIMO J, et al. Interdependence of demagnetization, loading, and temperature rise in a permanent-magnet synchronous motor[J].IEEE Transactions on Magnetics, 2010, 46(3): 949-953.
- [5] KANG G H, HUR J, NAM H, et al. Analysis of irreversible magnet demagnetization in line-start motors based on the finite-element method[J].IEEE Transactions on Magnetics, 2003, 39(3): 1488-1491.
- [6] 肖曦,张猛,李永东.永磁同步电机永磁体状况在线监测[J].中国电机工程学报,2007,27(24): 43-47.
- [7] CASADEI D, FILIPPETTI F, ROSSI C, et al. Magnets faults characterization for permanent magnet synchronous motors [J]. IEEE International SDEMPED, Bologna, Italy, 2009: 1-6.
- [8] HONG J M, PARK S, HYUN D, et al. Detection and classification of rotor demagnetization and eccentricity faults for PM synchronous motors [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2012, 48(3): 923-932.
- [9] TORREGROSSA D, KHOOBROO A, FAHIMI B. Prediction of acoustic noise and torque pulsation in PM synchronous machines with static eccentricity and partial demagnetization using field reconstruction method [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 2012, 59(2): 934-944.
- [10] ESPINOSA A G, JAVIER A. ROSERO J C, et al. Fault detection by means of hilbert-huang transform of the stator current in a PMSM with demagnetization [J].IEEE Trans on Energy Conversion, 2010, 25(2): 312-318.
- [11] 唐任远.现代永磁电机理论与设计[M].北京:机械工业出版社,1997.
- [12] 朱喜华,李颖晖,周飞帆,等.基于改进 EMD 算法的永磁同步电机故障特征提取[J].微电机,2009,44(2): 65-69.
- [13] 杨露,沈怀荣.希尔伯特-黄变换与小波变换在故障特征提取中的对比研究[J].兵工学报,2009(5): 628-632.
- [14] 刘曼兰,呼向东,崔淑梅.永磁直流电机故障诊断中电流信号分析与处理[J].哈尔滨工业大学学报,2005,37(6): 836-839.
- [15] 王胤龙.稀土永磁电机振动故障诊断系统研究[D].沈阳:沈阳工业大学,2008.

收稿日期: 2016 -11 -28

本刊投稿须知

随着技术发展和创新升级,尤其是感测、信号处理、仿真分析等技术快速发展,电机行业发展迎来新机遇,技术领域拓展到高效电机及再制造、风电并网控制、系统节能运行、智能调速与保护、电驱动等专业领域。

《电机与控制应用》期刊内容涉及五大板块:(1) 电机设计与制造: 涉及电机制造新工艺、新材料、高效电机及再制造、智能制造等技术;(2) 电机测试与检测: 涉及电机及系统运行的状态感测、快速信号处理、电机运行故障诊断、智能在线检测等技术;(3) 电机调速与保护: 涉及变频调

速、高性能调速、运动控制、电机起动及运行保护、智能调速等技术;(4) 并网与电驱动: 涉及风电并网控制、电动汽车驱动等技术;(5) 系统节能运行: 涉及电机应用系统节能相关技术。

为及时、全面刊载上述技术领域的最新技术动态,推广研发成果、工程经验及新产品应用方案,推动研究与应用的紧密结合,欢迎广大科技人员及团队向本刊投稿!

本刊只接受官网在线投稿系统(<http://motor-abc.cn>)的投稿。一经投稿,不可一稿多投,稿件确定不录用后方可另投他刊,敬请注意!